

**MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE ARRASTRALODOS  
DECANTADORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
RÍO CAUCA**

**OSCAR JULIÁN TRUJILLO DUQUE**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE ARRASTRALODOS  
DECANTADORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
RÍO CAUCA**

**OSCAR JULIÁN TRUJILLO DUQUE**

**Pasantía para optar el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
MIGUEL ÁNGEL HIDALGO  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de  
Grado en cumplimiento de  
los requisitos exigidos por  
la Universidad Autónoma de  
Occidente para optar al  
título de Ingeniero Mecánico**

**MIGUEL ANGEL HIDALGO**  
Director

Santiago de Cali, de Mayo 2008

A la universidad y los profesores por la paciencia y apoyo que tuvieron conmigo, al Ingeniero Miguel Ángel Hidalgo y a mi padre por el apoyo incondicional que me ha dado.

Oscar Julián Trujillo

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que se preocuparon por mí desde que inicié mi carrera universitaria. A mi madre Luz Elvira Duque y a mi padre Edgar Trujillo; quienes han sido mi apoyo en todos los momentos duros y hasta los más lindos de mi vida.

Oscar Julián Trujillo

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1. RESEÑA HISTORICA	13
1.2. DESGASTE	13
2. CALCULO DE PESO DEL ARRASTRALODOS	15
3. RODILLO EN FUNCIONAMIENTO	20
3.1 CONDICIONES DE TRABAJO	20
3.2 ANALISIS QUIMICO	20
3.3 USOS DE ACERO 1045	23
4. COTIZACIÓN	24
5. RODILLO DE SUGERENCIA	25
5.1. ANÁLISIS QUÍMICO AL ACERO 5140	25
5.2. ANÁLISIS EN ALGOR ACERO 5140	25
5.3. ANÁLISIS QUÍMICO AL ACERO 4140	26
5.4. ANÁLISIS EN ALGOR ACERO 4140	28
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
7. BIBLIOGRAFIA	31
8. ANEXOS	32

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis químico (acero 1045)	21
Tabla 2. Propiedades mecánicas (acero 1045)	22
Tabla 3. Composición química (acero 5150)	25
Tabla 4. Composición química (acero 4140)	27
Tabla 5. Propiedades mecánicas (acero 4140)	27
Tabla 6. Comparación de costos de los materiales	30
Tabla 7. Comparación de propiedades mecánicas de los materiales	30

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Arrastralodos superior (algor)	15
Figura 2. Arrastralodos superior (foto)	15
Figura 3. Arrastralodos inferior (algor)	16
Figura 4. Arrastralodos inferior (foto)	16
Figura 5. Área de contacto del rodillo	18
Figura 6. Rodillo	21
Figura 7. Von Mises (1045)	23
Figura 8. Deformación (1045)	23
Figura 9. Von Mises (5140)	25
Figura 10. Deformación (5140)	26
Figura 11. Von Mises (4140)	28
Figura 12. Deformación (4140)	28



## TABLA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. análisis méatalo grafico	32
Anexo B. Cotización	41

## GLOSARIO

**ABRASIÓN:** desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de materiales extraños, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material (como en las superficies de los dientes de los engranes). Igualmente la falta de una adecuada lubricación, puede dar como resultado la abrasión.

**CORROSIÓN:** ataque químico y electroquímico gradual sobre un metal producido por la atmósfera, la humedad y otros agentes.

**DUREZA:** la resistencia de una sustancia a la abrasión de la superficie.

**EROSIÓN:** se produce por la acción cortante de partículas suspendidas en un medio fluido con alta energía cinética actuando bajo un determinado ángulo de impacto, cuyo daño al material puede verse acelerado por calor y corrosión.

**IMPACTO:** se traduce en la colisión de partículas sobre la superficie metálica que origina un debilitamiento de sus propiedades mecánicas, por alteración de la estructura cristalina superficial.

**OXIDACIÓN:** Degeneración por el ataque del oxígeno a un material o lubricante. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos.

**SAND BLASTING:** es una limpieza que se le realiza a las piezas metálicas con un chorro de arena.

## **RESUMEN**

En los decantadores que se encuentran en la Planta de Tratamiento de Río Cauca, se denota un problema muy constante en el cual los rodillos de soporte de la estructura se están dañando en un lapso de tiempo de 4 meses y el cual la empresa quiere ampliar para minimizar los costos en el mantenimiento, por lo cual encontraremos a continuación en el trabajo una serie de análisis y propuestas para seleccionar otro tipo de material para el rodillo y lograr un aumento en la vida útil. Como investigaciones que se van a realizar en durante el trabajo son análisis químico del material en cuestión para determinar el tipo de acero que se esta utilizando actualmente, posterior una selección posibles materiales, y determinar un acero apropiado para el tipo de trabajo, además teniendo en cuenta las condiciones de trabajo en las que tiene que estar sometido.

En algún caso que se pueda llegar a plantear dentro de la investigación nos podemos topar con materiales los cuales no sean óptimos ya puede ser por propiedades mecánicas o por que no se consiga en el mercado local y esto aumento costo para la empresa.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de potabilización del agua en la Planta Río Cauca de las Empresas Municipales de Cali, comienza con la captación en las instalaciones de la Bocatoma; ubicada dentro de los predios de la otra planta de tratamiento llamada Puerto Mallarino. Desde la Bocatoma, por medio de dos tuberías de conducción del agua cruda; esta es llevada hasta la planta de tratamiento a una cámara de distribución de caudales donde continúa el flujo a un grupo de 6 decantadores; para la eliminación de los sólidos en suspensión y clarificación del agua. Estos decantadores son tanques en forma circular y cónica, en concreto, con estructuras metálicas de agitación, barrido de lodos y descarga de los mismos.

La estructura metálica que forma el arrastra lodos, tiene un movimiento de rotación y se encuentra guiada y apoyada en una pista circular por un grupo de rodillos; que están sometidos a un continuo desgaste; el cual produce finalmente su daño y posterior remplazo.

El objetivo del proyecto es el mejoramiento estructural del arrastra lodos de los decantadores de la Planta de Tratamiento Río Cauca; basado en el análisis de carga producida por la estructura del arrastra lodos sobre los rodillos; analizar los materiales usados y proponer si es del caso nuevos materiales que mejoren la vida útil de los rodillos; disminuyendo los costos correspondientes en las labores de mantenimiento.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE EMCALI

Emcali fue creada en 1931 por la necesidad y crecimiento de la ciudad, desde entonces el proceso de tratamiento del agua no a cambiado mucho y solamente se ha produciendo un mejoramiento en la ampliación y cobertura de los servicios.

El proceso de purificación del agua del Río Cauca, comienza con la captación del agua cruda, esta cruza por una rejilla de retención de sólidos y basuras de mayor tamaño. Posteriormente va a una estructura llamada desarenador, que se compone de una zaranda viajera para retención de sólidos pequeños y sistema para extraer la arena que se deposita en el fondo del desarenador. Después es bombeada por medio de las bombas de agua cruda y llevada por tuberías hasta la planta de Río Cauca, donde llega inicialmente a la cámara de mezclas es donde se le aplican los productos químicos como son el sulfato de aluminio, la cal y el cloro. De esta cámara va al grupo de decantadores en donde se remueven las partículas en suspensión y el agua sale clarificada para las baterías o conjunto de filtros. Sigue por el canal de conducción de agua filtrada, en donde se aplica nuevamente cal y cloro, completándose así el proceso de potabilización. El flujo llega a las bombas de agua tratada; de donde es bombeada a las tuberías de conducción para su distribución a los usuarios.

Hoy en día Emcali cuenta con las plantas de Puerto Mallarino, Río Cauca, Río Cali y la Reforma. Estas cuatro plantas en conjunto, son las encargadas del tratamiento del agua para la ciudad de Cali.

### 1.2. DESGASTE

El desgaste es considerado como el daño periódico producido en los materiales cuando están en contacto uno con otro.

El experto Tabuchi (1999), describe y explica los tipos de desgaste de la siguiente manera:

- **Abrasión:** Originada por la acción de partículas abrasivas duras que bajo acción de cargas se mueven en la superficie de la pieza, creando surcos o canales por remoción de material más blando. El proceso de remoción se efectúa por uno de los siguientes mecanismos:
- **Cortante:** ocurre en materiales dúctiles cuando las partículas con bordes agudos actúan formando virutas de metal.

- **Descorchado:** cuando la superficie es dura y frágil, las partículas duras fracturan y desprenden el material en forma de astillas.
- **Labrado** se produce cuando partículas redondeadas actúan sobre la superficies dúctiles produciendo deformaciones plásticas y deposición de material en los bordes.
- **Erosión:** causada por impactos de partículas sólidas a alta velocidad y determinado ángulo de incidencia.
- **Erosión:** Se produce por la acción cortante de partículas suspendidas en un medio fluido con alta energía cinética actuando bajo un determinado ángulo de impacto, cuyo daño al material puede verse acelerado por calor y corrosión.
- **Impacto:** Se traduce en la colisión de partículas sobre la superficie metálica que origina un debilitamiento de sus propiedades mecánicas, por alteración de la estructura cristalina superficial.
- **Corrosión:** Este mecanismo ocurre cuando se produce una reacción química o electroquímica. Y podemos considerar dos situaciones diferentes, el ataque químico directo en el cual los electrones abandonan el metal convirtiéndolos en cationes metálicos de un compuesto; y la corrosión electroquímica por acción de un electrolito y de otro metal que produzca una acción catódica, convirtiendo a la pieza metálica en parte anódica.
- **Calor:** Este no es un factor que cause un desgaste directo, más bien es un factor coadyuvante a los otros mecanismos, que actúa acelerando la acción de los otros factores antes mencionados<sup>1</sup>.

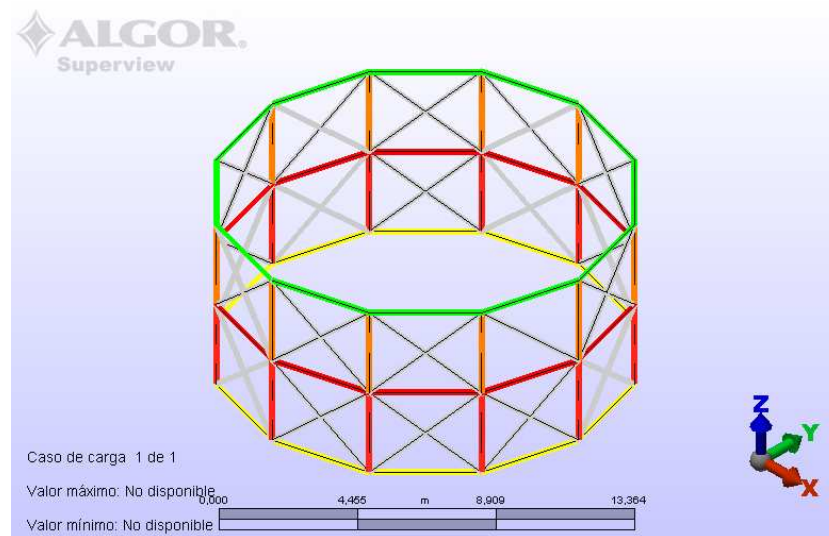
---

<sup>1</sup> MATSUMOTO, Tabuchi. Selección de recubrimientos duros aplicados a piezas industriales [en línea]. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1999. [Consultado 9 de abril de 2007]. Disponible en Internet: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02\\_n4/recubrimientos\\_pindustriales.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02_n4/recubrimientos_pindustriales.htm)

## 2. CALCULO DE PESO DEL ARRASTRALADOS

Para realizar el cálculo de peso del arrastralodos del decantador se utilizó el software Algor. El diseño se hizo en la aplicación super Draw

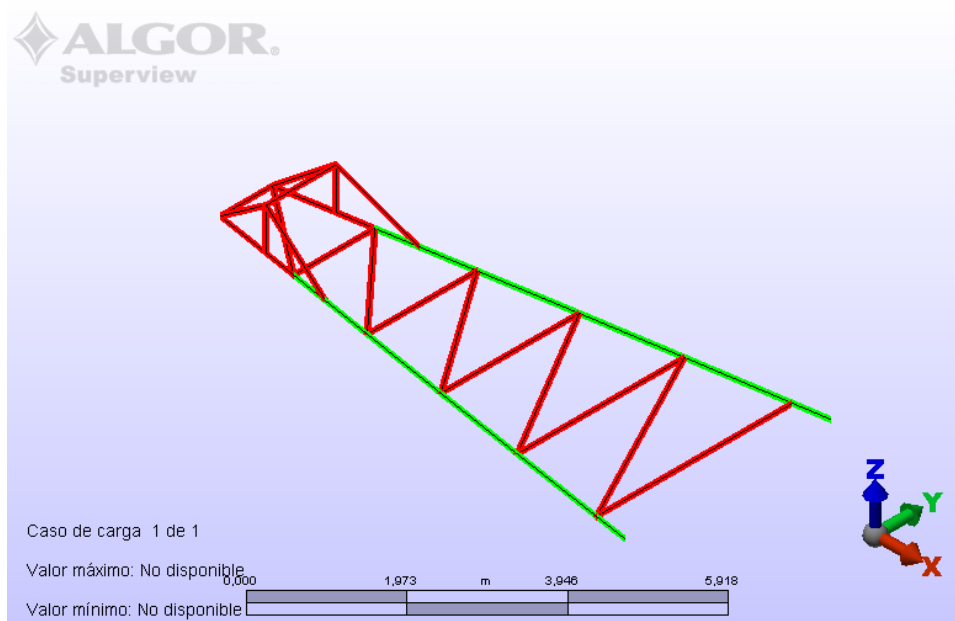
**Figura 1. Imagen del arratralodos superior**



**Figura 2. Foto del arrastralodos superior**



**Figura 3. Foto del arrastralodos inferior**



**Figura 4. Foto del arrastralodos inferior**



Los pesos de las estructuras se tomaron por separado para realizar un análisis individual debido a los recursos computacionales que se tiene.



Pesos:

Arrastralodos superior: 8.6466 E +5 N

Arrastralodos inferior: 8.1892 E +3 N

Haciendo una sumatoria de pesos y teniendo en cuenta que son dos arrastralodos inferiores da un peso aproximado de 6.792765664 E +7 N

Fuerza por rodillo es igual a 5.66063805 E +6 N

Este peso esta sujeto a cambios y debido a que hay que tener en cuenta las cajas que sujetan los rodillos de guía.

## 2.1. CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL RODILLO

Para calcular el factor de seguridad con el cual esta trabajando el rodillo en cuestión tomamos la formula:

Ecuación 1. 
$$Fs = \frac{\text{esfuerzo\_ultimo}}{\text{esfuerzo\_admisible}} = \frac{S_y}{\sigma}$$

Ecuación 2. 
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde P es la fuerza que se esta ejerciendo sobre el rodillo y A es el área de contacto del rodillo.

La fuerza que se ejerce sobre el rodillo la hallamos anteriormente por medio del software ALGOR que es igual a 5.66 E +6 N.

Para el cálculo del área de contacto de un rodillo vamos a utilizar la formula:

Ecuación 3. 
$$b = \sqrt{\frac{2F}{\pi d} \frac{(1 - \nu_1^2) / E_1 + (1 - \nu_2^2) / E_2}{1 / d_1 + 1 / d_2}}$$

Donde:

F = fuerza que esta soportando los rodillos.

$\nu$  = coeficiente de Poisson.

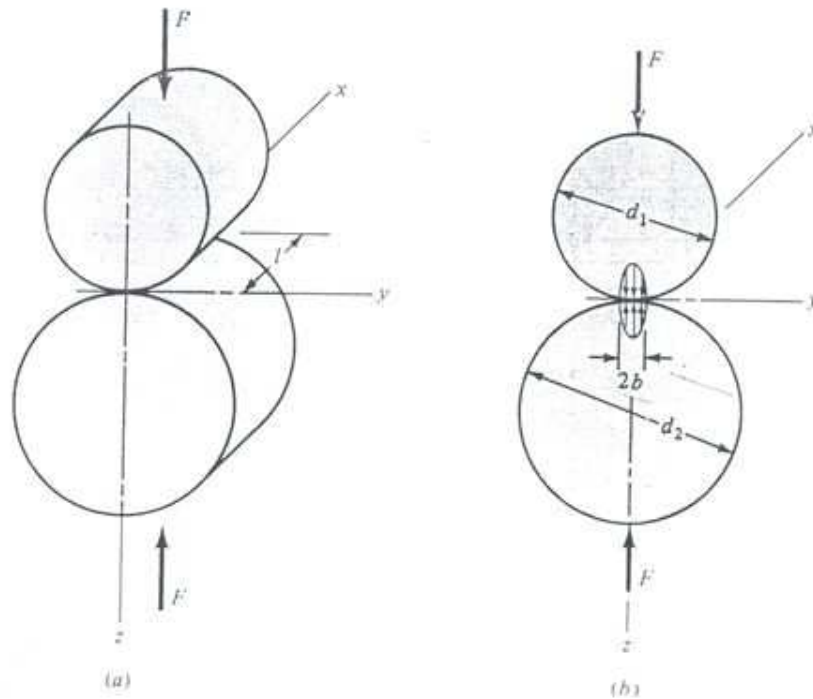
$d$  = diámetros de los rodillos.

$l$  = longitud de contacto.

$E$  = modulo de elasticidad longitudinal.

$b$  = contacto de los rodillos.

**Figura 5. Area de contacto entre rodillos**



Para este caso los parámetros de análisis son:

$$F = 5.66 \text{ e } +6 \text{ N}$$

$$V = 0.28$$

$$d_1 = 0.145 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.183 \text{ m}$$

$$l = 0.0697$$

$$E = 2100,000.$$

Reemplazando en la ecuación 3 obtenemos  $b = 1.91 \text{ cm}$ .

El área de contacto es:

$$A = b * l = 0.0191 * 0.0697 = 0.0013 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{p}{A} = \frac{5.66 * 10^6}{0.0013} = 4353.8 Mpa$$

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{413.8 Mpa}{4353.8 Mpa} = 9.5 * 10^{-2}$$

Debido a este factor de seguridad hallado notamos que el rodillo tal cual como lo está trabajando esta por debajo del factor de seguridad mínimo de trabajo que es 1, el cual nos indica que por lo menos puede aguantar la carga a la cual esta sometida.

### 3. RODILLO EN FUNCIONAMIENTO

#### 3.1. CONDICIONES DE TRABAJO

- Una parte de los rodillo para ser mas exactos 12 rodillo están sumergidos en el agua.
- Los rodillos de soporte y guía superior están cubierto por una capa de grasa para facilitar la movilidad.
- La grasa que cobre los rodillo se encuentra llena de partículas de polvo y en ocasiones para ser mas exacto cuando se esta realizando un mantenimiento del decantador que se aplica sand blasting, se encuentra arena en la grasa.
- Los rodillos de soporte y guía superior se encuentran a la intemperie.
- Muchos de los rodillos que se tienen para cambio se encuentran con oxidación.

#### 3.2. ANÁLISIS QUÍMICO

Para ello se realizo una prueba química para saber con exactitud el material, esta prueba se realizo en la empresa metalúrgica SIDOC S.A. con la colaboración de Juan Sebastián Pérez la maquina es el dispositivo es una máquina para cromatografía de gases, el tipo de cromatografía que realiza es el de gas-líquido (GLC)

En un principio cuando se entrego el rodillo para los análisis se observaron ciertas irregularidades en él debido a que por ser un acero de la serie 40 o aceros aleados que contienen elementos como Níquel, Cromo, Molibdeno entre otros, le dan propiedades mecánicas importantes como la resistencia a la corrección, resistencia a la tracción pero en nuestro caso se dio una situación muy particular la cual fue que el rodillo se corroyo con gran facilidad en un lugar en el cual no tenia contacto directo con agua.

**Figura 6. Foto del rodillo**



Como se observa en la figura 5 que fue tomada 5 días después de la entrega del rodillo por parte de EMCALI se una nota gran corrección en el rodillo lo cual no le sucede da los aceros aleados esto condujo a su pociones tales como: no es un acero aleado, puede ser un acero de bajo carbono, mala fabricación.

Se realizo un corte del rodillo para que se pudiera colocar en la maquina, la cual trabaja con Argon y un láser de alta densidad para quemar la probeta y hacer la lectura posteriormente en tablas se compararon los porcentajes de elementos dados por la maquina de análisis químico los cuales se muestran a continuación.

**Tabla 1 Análisis químico del acero de trabajo actual.**

PRUEBAS	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
1	0,44	0,66	0,019	0,017	0,28	0,14	0,14	0,16
2	0,43	0,65	0,02	0,02	0,28	0,15	0,14	0,16

	Mo	Al	Nb	Sn	B	Ca	Co	V
1	0,039	0,016	0,018	0,006	0	0,001	0,011	0,001
2	0,039	0,017	0,017	0,006	0	0,001	0,01	0,001

	Pb	Sb	Ti	W	Zn	Zr	FE%	EQUIVALENTE
1	0,001	0,003	0,001	0,024	0	0,001	97,98	0,57023
2	0,001	0,003	0,001	0,013	0	0,001	97,99	0,56462

Comparando los resultados con tablas de sobre composición de aceros obtenemos que esta dentro de los rangos del acero 1045F que es un acero de bajo carbono utilizado para forja lo cual corrobora las su pociones que se tenían antes de hacer el análisis químico.

**Tabla 2 Propiedades mecánicas de los aceros de bajo carbono.**

Nº SAE o	Resistencia		Límite de		Alargamiento	Dureza
AISI	a la tracción		Fluencia		en 50 mm	Brinell
	Rm		Re			
	Kgf / mm <sup>2</sup>	Mpa	Kgf/mm <sup>2</sup>	Mpa	%	
1010	40	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025	50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030	56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035	59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040	63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045	68,7	673,7	42,2	413,8	23	215
1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229
1055	78,5	769,8	45,8	449,1	19	235
1060	83,1	814,9	49,3	483,5	17	241
1065	87	853,2	51,9	509	16	254
1070	90,9	891,4	54,6	535,4	15	267
1075	94,7	928,7	57,3	560,9	13	280
1080	98,6	966,9	59,8	586,4	12	293

Resaltado en amarillo tenemos el acero 1045 con sus propiedades mecánicas mostradas en la tabla 2.

Al rodillo se le realizaron los planos en el software solid edge versión 17 para así mismo realizarle un análisis en Algor versión 18.

Sus principales usos son en la construcción, laminación, líneas de ferrocarriles, etc.

Los parámetros de análisis de Algor son tipo de material, tipo de elemento, cargas y restricciones, para ello se asumió como primera media el tipo de material que se está utilizando en la actualidad en la empresa el cual es el acero 1045 y posteriormente realizar el mismo análisis con el material que se está proponiendo para comparar los resultados. Algunos de estos resultados que son esenciales son las deformaciones y la tensión obtenida por Von Mises para observar cual de los dos materiales se comporta mejor ante la misma fuerza que se está aplicando.

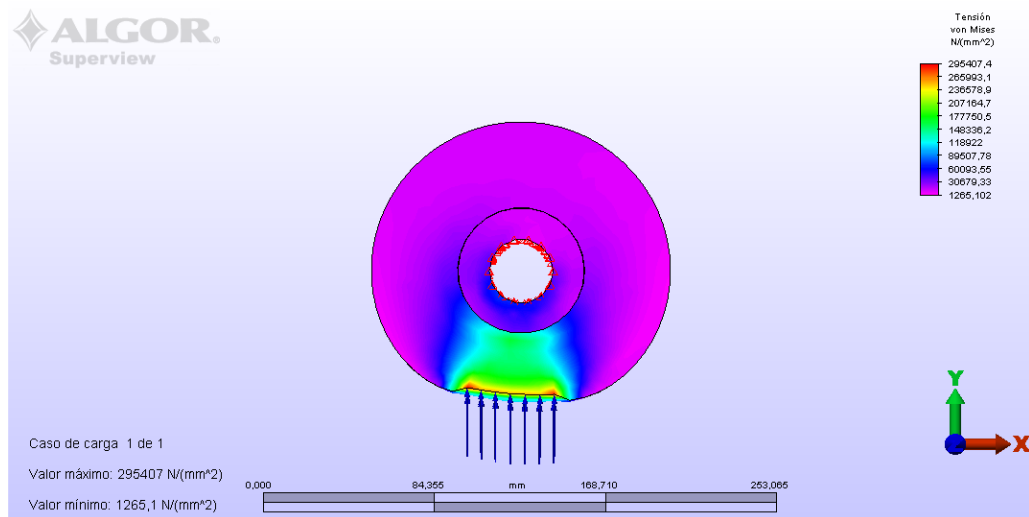
El tipo de elemento que se escogió para los dos casos fue tipo Brick.

Obteniendo estos parámetros el análisis en Algor se puede realizar de manera fácil y rápida, para el análisis que se realizó tardó entre 10 y 15 segundos.

Los datos obtenidos por Algor son los siguientes:

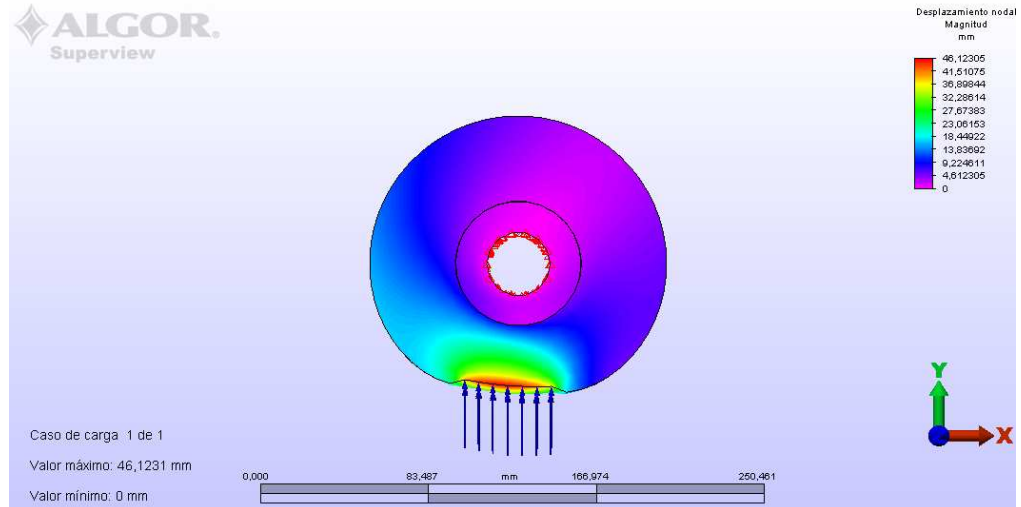
Von Mises

**Figura 7. Von Mises**



Deformación

**Figura 8. Foto de la deformación**



Los valores máximos hallados por Algor son:

Para Von Mises es  $295407 N/mm^2$

Deformación máxima 46mm

### 3.3. USOS DEL ACERO 1045

Usado en engranajes, ejes, árboles, pernos, espárragos y piezas de máquinas.

#### **4. COTIZACIÓN**

La cotización del material utilizado el cual es un acero 1045 se realizan en Payán & Cia Ltda. con la colaboración de Wilson Escobar, la cual esta ubicada en la Cra 4B - 26 – 13 de la ciudad de Cali Colombia, el precio dado por ellos es de \$ 260000 pesos colombianos el cual presenta la forma de pago de 30 días. Hay que tener en cuenta que este valor dado es unitario y que los decantadores en la empresa de Río Cauca llevan 36 rodillos especificados de la siguiente manera 12 de soporte, 12 de guía superior y 12 de guía media.

El costo de comprar los 36 rodillos es de \$ 9360000 pesos para un solo decantador, y para toda la planta que posee 6 decantadores tiene un costo de \$ 56160000 pesos.



## 5. RODILLO DE SUGERENCIA

### 5.1. ANÁLISIS QUÍMICO AL ACERO 5140

Como primera instancia se sugiere un acero de la clase 51XX esto debido a su resistencia al desgaste y corrosión, con limite de fluencia 91 – 112 kg/mm<sup>2</sup>

**Tabla 3. Composición química de los aceros de la serie 51XX**

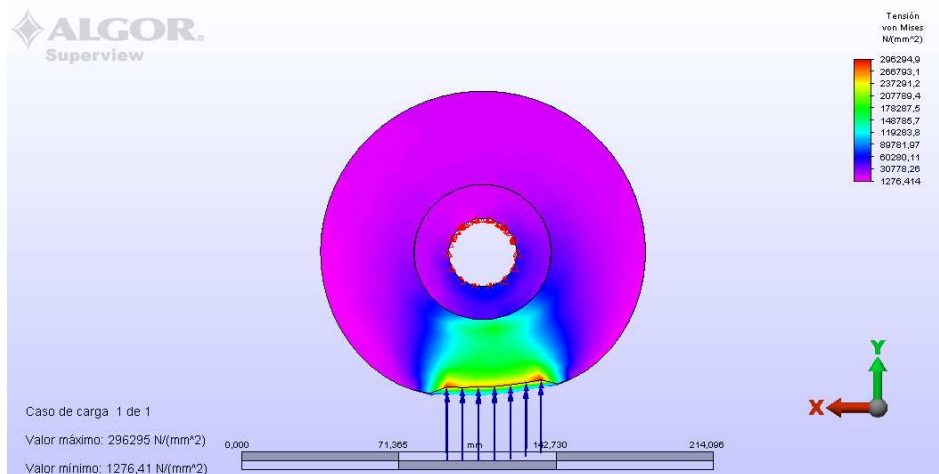
Designación	C		Mn		P (max)	S (max)	Si		Cr	
AISI										
5117	0,2	- 0,2	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
5120	0,2	- 0,2	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
5130	0,3	- 0,3	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,8	- 1,1
5132	0,3	- 0,4	0,6	- 0,8	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,8	- 1,1
5135	0,3	- 0,4	0,6	- 0,8	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,8	- 1,1
5140	0,4	- 0,4	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
5150	0,5	- 0,5	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
5155	0,5	- 0,6	0,7	- 0,9	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
5160	0,6	- 0,6	0,8	- 1	0,035	0,04	0,2	- 0,4	0,7	- 0,9
E51100	1	- 1,1	0,3	- 0,5	0,025	0,025	0,2	- 0,4	0,9	- 1,2
E52100	1	- 1,1	0,3	- 0,5	0,025	0,025	0,2	- 0,4	1,3	- 1,6

**Fuente:** Composición química de los aceros comunes [en línea]. Santiago De Chile: Ingefix, 2007 [Consultado 26 de mayo 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ingefix.cl/catalogo/anclajesquimicos/Composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica%20y%20designaci%C3%B3n%20de%20los%20aceros%20comunes.htm>

### 5.2. ANÁLISIS ALGOR ACERO 5140

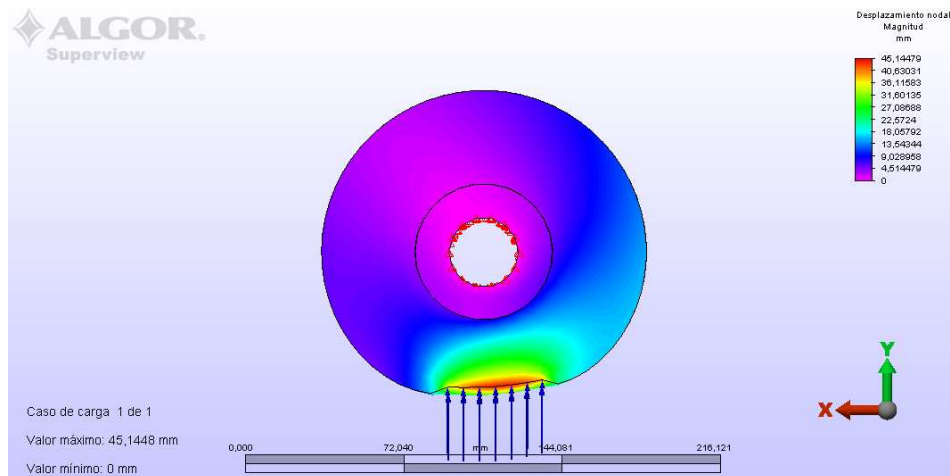
Von Mises

**Figura 9. Tensión de Von Mises**



El valor máximo en Von Mises es de 296295 N/mm<sup>2</sup>

**Figura 10. Deformación**



La deformación máxima que se presenta es de 45 mm

### 5.3. ANÁLISIS QUÍMICO AL ACERO 4140

En la sugerencia se tomo como segunda instancia la calidad del material utilizado por la empresa y las condiciones de trabajo, de esto se noto que se esta manejando un material de bajo carbono el cual es muy susceptible a la oxidación tal como vemos en las condiciones de trabajo mencionadas anteriormente

Para realizar el análisis químico del material a utilizar se tomo una decisión debido a las condiciones de trabajo, se busco un material que sea resistente a la oxidación, a la compresión y que se consiga en el mercado colombiano. Inicialmente se pensó en un acero aleado de la serie 50 como lo es el 5040, pero presento un inconveniente el cual es que no la empresas que venden este tipo de productos no lo hacen en pocas palabras es un acero no comercial lo cual elevaría los costos de compra ya que tocaría importarlo.

La segunda opción que se tuvo fue un hacer aleado de la serie 40 el cual es 4140 es cual presenta característica inoxidable por la presencia de Cromo y Molibdeno, presenta resistencia a la torsión, al desgaste y al impacto, por lo general es un acero que no lleva tratamientos térmicos el limite de fluencia es 70 – 90 Kg/mm<sup>2</sup> y dureza RC entre 95 – 115 kg/mm<sup>2</sup>.

La prueba química que se le efectuó al acero 4140 que se consiguió en el mercado arrojó los siguientes datos fue:

**Tabla 4 Análisis químico**

PRUEBA	C	Mn	P	S	Si
1	0,42	0,792	0,027	0,024	0,63
2	0,42	0,79	0,029	0,025	0,61


  

	Cr	Mo	Al	V	Base
1	0,57	0,03	0,043	0,005	97,444
2	0,58	0,02	0,04	0,005	97,475

Cu	Ni				
0,01	0,03				
0,01	0,03				

**Tabla 5 características del acero 4140**

Aceros Bonificados					
Normas		Características	Composición		Dureza
		Técnicas y Aplicaciones	Química		Entrega
			%		HB
USA/	Alemania	Acero al Cr, Mn, Mo contratamiento térmico, de alta resistencia a la tracción para piezas de maquinarias sometidas a la tracción para piezas de maquinarias sometidas a exigencias como muñones, pernos y piñones			
SAE/AISI	W.St.N°		C: 0,42	Mo : 0,20	<b>266</b>
<b>4140</b>	<b>7225</b>		Mn : 0,65	Cr : 1,00	<b>310</b>
<b>Código</b>					
<b>Color</b>					

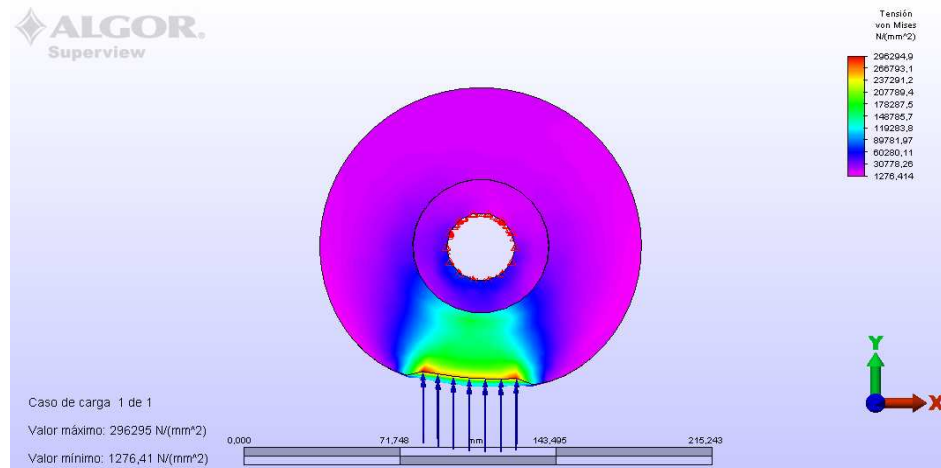
El 4140 es uno de los aceros de baja aleación más populares por el espectro amplio de propiedades útiles en piezas que se someten a esfuerzo, con relación a su bajo costo. Al templearlo se logra muy buena dureza con una gran penetración de la misma, teniendo además un comportamiento muy homogéneo. Tiene también una buena resistencia al desgaste.

Se emplea en cigüeñales, engranes, ejes, mesas rotatorias, válvulas y ruedas dentadas. También es utilizado en piezas forjadas, como herramienta, llaves de mano y destornilladores, espárragos, árboles de levas, flechas de mecanismos hidráulicos, etc.

#### 5.4. ANÁLISIS ALGOR ACERO 4140

Von Mises:

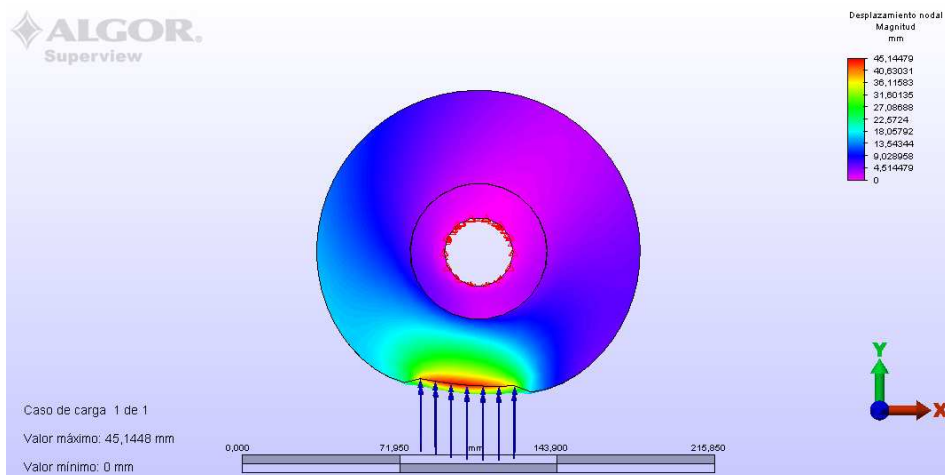
**Figura 11. Von Mises**



El valor máximo en Von Mises es de 296295  $N/mm^2$

Deformación:

**Figura 12. Deformación**



La deformación máxima que se presenta es de 45 mm

## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con el cálculo del factor de seguridad de trabajo encontrado el cual es de  $9.5 \cdot 10^{-2}$  notamos que esta hecho de un material el cual no es recordable para la carga que esta soportando, esto puede ser una de las causas de que el tiempo de desgaste sea en 4 meses.

En los resultados encontrados por el análisis químico realizado en **SIDOC S.A.** al rodillo de muestra dado por la empresa **EMCALI** planta de tratamiento de agua potable Rio Cauca y dado el material que ellos sugirieron que era dicho rodillo, el cual resulto siendo un material diferente del cual sus propiedades mecánicas son insuficientes para el trabajo al cual está siendo sometido, debido a esto vemos un prematuro desgaste en la pieza y los cambios prematuros de la pieza.

En cuanto a los costos se nota que hay un alza en el precio o una mala cotización debido a que la cotización que se realizo en la empresa **PAYAN Y CIA** con numero de factura 71.379, que se hizo por una cantidad de 12 rodillo el precio por unidad es de \$ 260,000.00 por lo cual según los datos de compra dados por **EMCALI** el cual es de \$ 400,000.00 por unidad es muchos más costosa, esto para el material que se está utilizando en la actualidad, para el material que se está proponiendo con un costo de \$ 260,000.00 por unidad, pero con mejores propiedades mecánicas tales como dureza, resistencia a la oxidación.

Los gastos que tiene **EMCALI** en este momento por parte de la compra de todo el juego de rodillos que exige los decantadores es elevado teniendo un precio por unidad de \$ 400,000.00 sabiendo que cada decantador tiene 36 rodillos para un total de \$ 14'400,000.00 por cada decantador siendo 6 decantadores en la planta de tratamiento Rio Cauca, esto teniendo en cuenta que no se está entregando un comprobante del material que se está vendiendo o comprando que debe de ser una exigencia por parte de la empresa en caso de daños del material o algún daño en la maquinaria.

En cuanto a todos los resultados dados por Algor de los diferentes materiales observamos que no hay cambios significativos en cuanto a deformación y tensión, entonces a pesar de que cambiemos el material los tres trabajarían de la misma manera, la única diferencia sería en las propiedades mecánicas como son resistencia a la corrosión de cada uno de dichos materiales y la abrasión, debido a la ubicación de trabajo.

Por otra parte en cuanto a las propuestas de materiales que se dan, el acero de la clase 5140 es un acero el cual no se consigue en el país, por lo que se tendría que importar y esto subiría los costos por unidad en la fabricación del

rodillo, siendo un punto en contra con este material a diferencia del 4140 que es un material que se trabaja y se produce en Colombia.

**Tabla 6. Comparación de costos de los materiales**

<b>MATERIAL</b>	<b>COSTO</b>	<b>MODO DE FABRICACION</b>	<b>OBTENCION</b>
1045	\$ 260.000	torno	Nacional
5140	-----	torno	Internacional
4140	\$ 260.000	torno	Nacional

**Tabla 7. Comparación de propiedades mecánicas de los materiales**

<b>MATERIAL</b>	LIMITE DE FLUENCIA	DUREZA	
	<b>Kgf/mm<sup>2</sup></b>	BRINELL	RC
1045	42.2	215	18
5140	91 - 112	--	--
4140	70	240	23

## BIBLIOGRAFIA

Acero maquinaria [en línea]. Indios verdes: aceros palmexico, 2008. [Consultado 28 en mayo de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.acerospalmexico.com.mx/4140.htm>

Aceros al bajo carbono [en línea]. Miami, Florida: Metalmeccanica, 2008. [Consultado 28 de mayo de 2008]. Disponible en Internet: [http://www.metalmeccanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/R/REFERENCIA1/documento\\_HTML.jsp?idDocumento=12327](http://www.metalmeccanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/R/REFERENCIA1/documento_HTML.jsp?idDocumento=12327)

BEER, Ferdinand. Mecánica de materiales. 2 ed. Bogotá, Colombia: McGraw Hill. 1995, 738 p

Composición química de los aceros comunes [en línea]. Santiago De Chile: Ingefix, 2007. [Consultada en mayo 26 de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ingefix.cl/catalogo/anclajesquimicos/Composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica%20y%20designaci%C3%B3n%20de%20los%20aceros%20comunes.htm>

KUGELFISCHER, Georg. Aplicaciones prácticas de rodamientos. Alemania: FAG, 1968. 184 p.

LIPSON, Charles. Importancia del desgaste en el diseño. Mexico: Herrero hermanos, 1970. 165 p.

ROBERGE, P. Erosión - corrosión. Houston, Texas: NACE International, 2004. 85 p.

MATSUMOTO, Tabuchi Selección de recubrimientos duros aplicados a piezas industriales [en línea]. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1999. [Consultado 9 de abril de 2007]. Disponible en Internet: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02\\_n4/recubrimientos\\_pindustriales.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02_n4/recubrimientos_pindustriales.htm)

## ANEXOS

### Anexo A. Análisis Metalográfico



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

9230-

Cali, 13 de Junio de 2008

Señores:  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE.  
Atn: Alex Amed Valencia  
Calle 52 # 2 bis 15  
Cali.

### INFORME DE ENSAYO No **ME0239-08**

#### *Análisis Metalográfico*

#### 1. Identificación de Muestras:

La identificación de las muestras fue asignada por el laboratorio y codificadas como:

MUESTRA 1: 1 (M1)

MUESTRA 2: 2 (M2)

Que ingresa al laboratorio el día 09 de Junio y realizadas entre el 11 y el 13 de junio bajo el procedimiento descrito a continuación:

#### 2. Acondicionamiento:

No requerido.





Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

### 3. Condiciones del ensayo:

Temperatura 23,1°C y humedad relativa del 58,0%

### 4. Desarrollo de la Prueba:

Para realizar el análisis metalográfico (ver figura 1), cada probeta se sometió a un proceso de preparación para observación metalográfica, pasando por diferentes etapas de desbaste y pulido, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E3-01 "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens", después se atacó químicamente para ser llevada nuevamente al microscopio. Los resultados obtenidos, se presentan a continuación y las correspondientes micrografías en el Anexo 1.

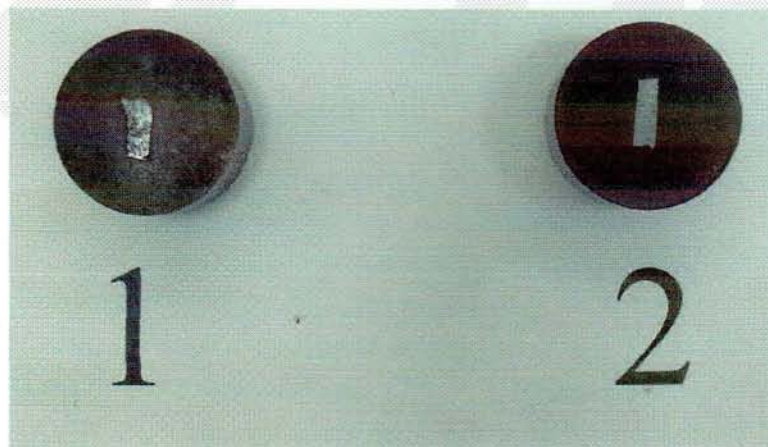


Figura 1. Muestras recibidas en el laboratorio.



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

### **MUESTRA 1: 1 (M1)**

La muestra corresponde a un acero al carbono. En las figuras 1 y 2 del Anexo 1 se observa la micrografía de la muestra 1 compuesta por ferrita y perlita. Adicionalmente se encontraron inclusiones no metálicas del tipo sulfuro de manganeso.

### **MUESTRA 2: 2 (M2)**

La muestra corresponde a un acero al carbono. En las figuras 3 y 4 del Anexo 1 se observa la micrografía de la muestra 2 compuesta por ferrita y perlita. Adicionalmente se encontraron inclusiones no metálicas del tipo sulfuro de manganeso.

----- FIN DESARROLLO DE LA PRUEBA -----



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## NOTAS ACLARATORIAS:

- Este informe se refiere exclusivamente a las probetas referenciadas en el numeral 1 de este informe, analizadas en el laboratorio de Metalografía y Espectrometría del C.D.T ASTIN; toda extrapolación de resultados de otras probetas debe ser objeto de un documento independiente.
- Este informe de metalografía no debe ser reproducido ni parcial, ni totalmente, sin la debida aprobación del C.D.T ASTIN.
- Equipos utilizados:  
Microscópio metalográfico Olympus PME3.  
Equipo de preparación metalografica marca Buehler.


La muestra se devuelve al cliente y una copia del informe permanecerá en el laboratorio durante doce (12) meses calendario, a partir de la realización el ensayo.

Cordialmente,

Ejecutado por:

  
HUGO FERNANDO MARTINEZ.  
PROFESIONAL DE LABORATORIO  
Serie: 146-06  
Anexo micrografías.

Revisado por:

  
EDGAR MARINO PRETEL OTERO  
Coordinador de Laboratorios  
Centro Nacional ASTIN



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## ANEXO 1.

### MICROGRAFIAS.

#### MUESTRA 1: 1 (M1)

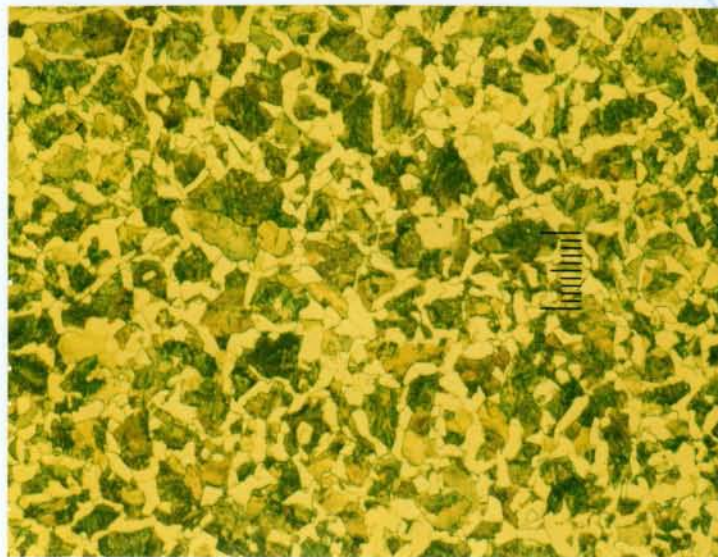


Figura 1. Micrografía de la muestra 1. Se observa ferrita (áreas Claras) y Perlita (áreas oscuras). Nital 2%. 100X.





Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## ANEXO 1.

### MICROGRAFIAS.

#### MUESTRA 1: 1 (M1)

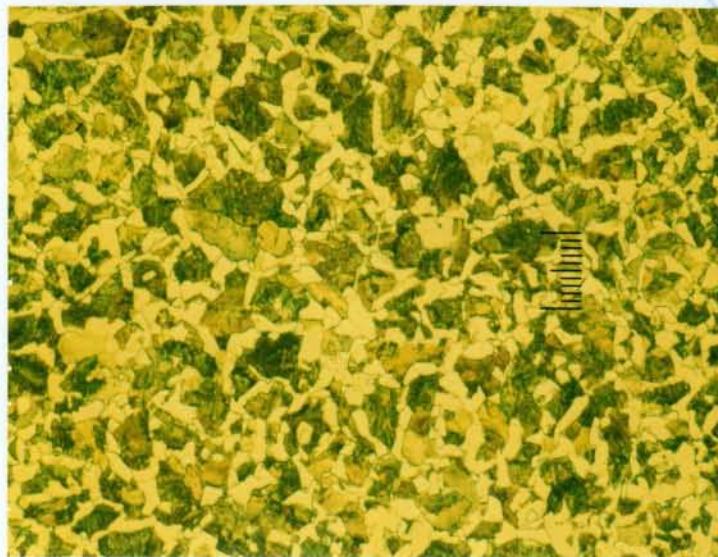


Figura 1. Micrografía de la muestra 1. Se observa ferrita (áreas Claras) y Perlita (áreas oscuras). Nital 2%. 100X.



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## MUESTRA 1: 1 (M1)

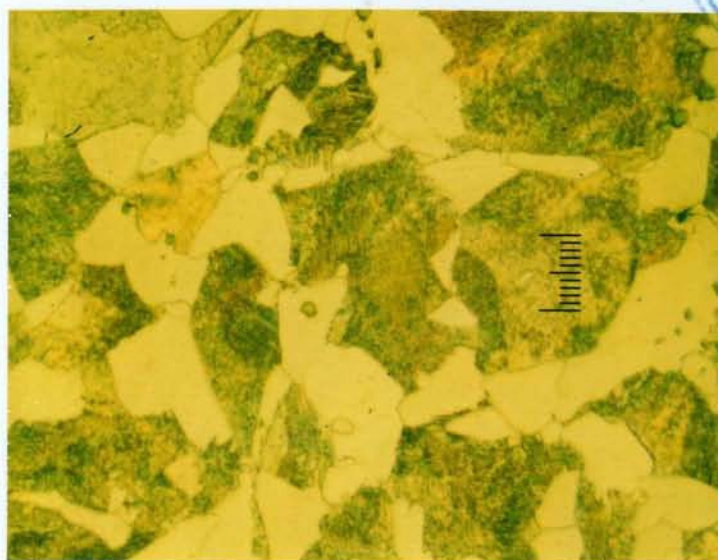


Figura 2. Micrografía de la muestra 1. Se observa ferrita (áreas Claras) y Perlita (áreas oscuras). Nital 2%. 500X.



Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## MUESTRA 2: 2 (M2)

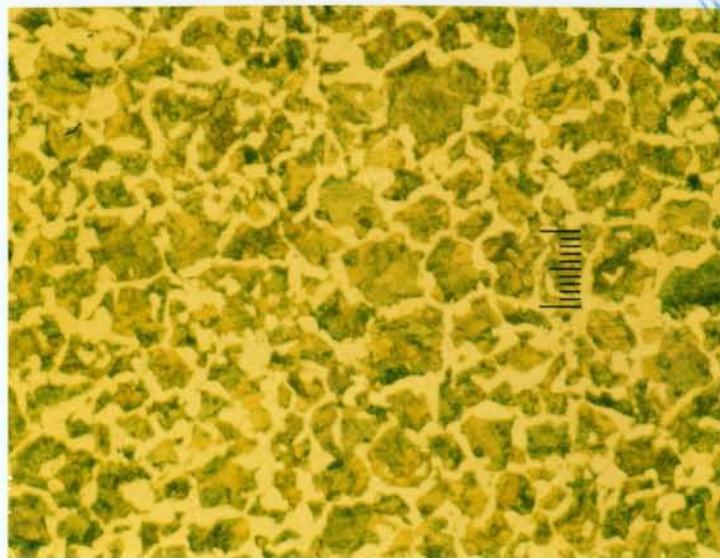


Figura 3. Micrografía de la muestra 2. Se observa ferrita (áreas Claras) y Perlita (áreas oscuras). Nital 2%. 100X.





Regional Valle  
Laboratorio de Metalografía y Espectrometría

## MUESTRA 2: 2 (M2)

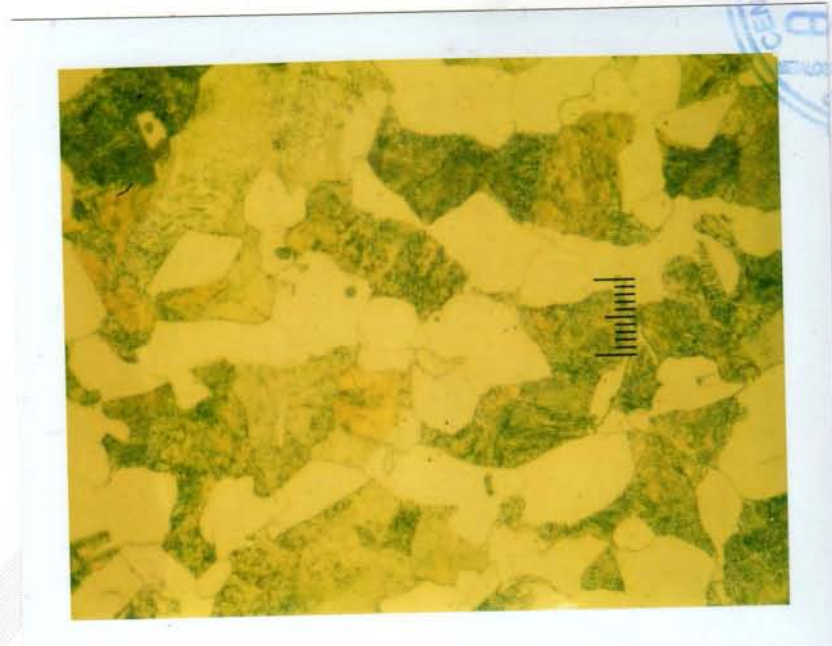


Figura 4. Micrografía de la muestra 2. Se observa ferrita (áreas Claras) y Perlita (áreas oscuras). Nital 2%. 500X.



## Anexo B. Cotización



Diseño, Construcción y Reparación  
de maquinaria industrial

**Payán & Cia. Ltda.**

Mecanizamos las ideas

NIT 890.311.407-8

**Cot N° TP 71.379**

Santiago de Cali

18 de enero de 2008

Señores

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE

Atn. miguel angel hidalgo

Tel (052) 318-8000 Fax (052) 555-3755

Atendiendo su amable solicitud de cotización, presentamos a su consideración el siguiente presupuesto y alcance

Item	Descripción	Cod Arancel	Cant	Valor Unit	Valor Cotizado
1	construccion de rodillo exterior horizontal para decantador ciolazur en acero 4140.		12	\$ 260.000	\$ 3.120.000
*** Fin de Listado ***					

Notas

### CONDICIONES COMERCIALES

**Precio**

**\$ 3.120.000**

Tiempo Entrega 10 días  
Validez de la oferta 30 días  
IVA 16%  
Forma de Pago 30 días  
Tipo de Moneda Pesos Colombianos  
Observaciones

*Duplicado*

Cordialmente,

**PAYAN & CIA LTDA.**

e-mail [comercial@payan.com.co](mailto:comercial@payan.com.co)

Móvil

**Nuevo!**

Planta 1: Cra 4B N° 26-13 / PBX (57) 2 443 58 24

Fax (57) 2 442 16 33

Cali - Colombia

Planta 2: Calle 2 N° Tr3 - 130 La Dolores

Tels (57) 2 666 91 42 / 43 / 44 / 46 / 47 / TeleFax (57) 2 270 30 49 / Palmira - Valle

Visite [www.payan.com.co](http://www.payan.com.co)



C

payan

18-ene-2008 15:49

M

payan

18-ene-2008 15:49

I

payan

18-ene-2008 15:47